

文章编号: 1000-5013(2010)02-0126-06

Pro/ E 和 VERICUT 虚拟机床建模与仿真

樊启永¹, 顾立志¹, 宋金玲²

(1. 华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021;
2. 泉州师范学院 理工学院, 福建 泉州 362000)

摘要: 将 Pro/ E 的 NC 代码自动生成技术和 VERICUT 的加工仿真功能结合起来,以具体零件为加工对象,提出一种 Pro/ E 和 VERICUT 联合运用的虚拟机床技术.基于 Pro/ E 的后处理模块完成数控加工的 NC 代码的自动生成,并应用 VERICUT 软件实现零件的虚拟铣削过程动态仿真.通过检验,根据需要修正数控代码,重复上述仿真过程,进一步对刀位轨迹进行优化,最终获得优化的 NC 代码.铣削加工实例证明,将 Pro/ E 和 VERICUT 联合运用进行虚拟机床技术研究的正确性和实用性.

关键词: 虚拟机床; 铣削过程; Pro/ E; VERICUT; Pro/ NC; 仿真

中图分类号: TG 547.021; TP 391.9

文献标识码: A

1994 年,美国科学技术政策办公室发布了美国机床业竞争力的测试报告,提出虚拟机床(Virtual Machine Tool, VMT)工程计划,目标是模拟切削加工操作,获得真实感结果的预测能力^[1-2].2003 年,美国国家科学基金会(NSF)资助美国西北大学、伊利诺斯大学、密歇根大学开展联合研究,目标是实现虚拟机床在综合仿真环境下的加工操作,获得工件属性(公差、形状及光洁度等)及可制造性的精确描述.我国对虚拟机床的研究与国外几乎在同一时间.清华大学、哈尔滨工业大学、东北大学等相继开展了对虚拟机床环境、建模和仿真的研究,但主要集中在虚拟机床的结构和框架的研究上.总的来说,国内的虚拟机床软件同国外相比还有很大的差距.由于开发与应用部门的脱节,国内还没有形成自己特色的工程化、商业化软件系统.从三维图形设计到工程数据库,国内也没有一套能代替国外产品的软件.因此,在我国现阶段主要目标是研究开发面向工程化、实用化的软件.本文分析 Pro/ E 和 VERICUT 的功能模块,构建了虚拟机床模型、零件 CAD 模型和制造模型.

1 软件功能模块分析

1.1 Pro/ E 软件

Pro/ E 是集 CAD/ CAE/ CAM 功能于一体的三维仿真软件. Pro/ NC 为其中的加工制造模块,可以将 CAD 与 CAM 结合起来,配合相关的工艺知识(包括加工方法、毛坯、夹具、刀具、机床等)生成刀具轨迹文件,再通过针对性的后置处理,生成最终的数控加工代码.

Pro/ NC 由一系列可选的子模块组成^[3],包括 Pro/ NC-MILL(执行 2.5 轴和 3 轴铣削加工)、Pro/ NC-TURN(执行 2 轴和 4 轴车削及中心线钻孔)、Pro/ NC-ADVANCED(多轴车、铣加工)和 Pro/ NC-WEDM(执行 2 轴很轴的线切割).其中,铣削模块可进行平面铣削、体积块铣削、曲面加工、腔槽加工、凹槽加工、轮廓加工、局部铣削、螺纹铣削、轨迹加工和雕刻等,根据不同的加工对象可选择合适的加工方案. Pro/ NC 不仅完全支持高速和多轴等高端加工方式,还有自己独特的技术特点,有良好的扩展性.

1.2 VERICUT 软件

VERICUT 软件是一个功能强大的 NC 机床切削仿真软件,能够真实地模拟加工过程中刀具的切

收稿日期: 2008-06-11

通信作者: 顾立志(1956-),男,教授,主要从虚拟制造技术事的研究. E-mail: gulizhi888@163.com.

基金项目: 泉州市科技计划项目(2007 G9)

削、加工零件、夹具、工作台及机床各轴的运动情况。该软件不仅能够对 NC 程序进行仿真、验证、分析和优化,而且能够对机床进行仿真。通过模拟机床加工过程,真实地反映加工中遇到的各种问题,包括加工编程的刀具运动轨迹、工件过切、欠切情况和刀具、夹具运动干涉等错误,甚至可以直接代替实际加工过程中试切的工作。主要包括如下 10 个功能模块^[4-5]。

(1) Vericut Verification. 该模块是 VERICUT 软件系列各模块的基础,提供三轴加工验证及分析,可模拟由 CAM 软件输出的刀位文件和 G 代码文件。

(2) Machine Simulation. 该模块使 VERICUT 能够模拟由控制系统驱动的三维数控机床的实时动画,模拟中看到的情况和在加工车间出现的实际情况一样。

(3) OptiPath. 对切削用量进行优化设计,以满足最小加工时间的目标函数及最大机床功率等约束条件的要求。

(4) Multi-Axis. 使 VERICUT 能够模拟多轴机床的联动,最多可支持 18 轴联动。

(5) Model Export. 把模拟加工生成的任何一个阶段的结果输出一个 CAD 模型,实现从 CAM 到 CAD 的连接,可为改进加工计划,提升逆向工程提供数据模型。

(6) AUTO-DIFF. 使用户能够将设计模型与制造模型进行比较,并自动计算两者的差别,用于识别不正确的加工区域或设计中的可能存在的弱点或错误。

(7) Machine Developers Kit. 该模块用来做一些二次开发用。

(8) CAD/ CAM Interfaces. 可从 Pro/ E 等 CAD/ CAM 系统内部无缝运行 VERICUT。

(9) Vericut Utilities. 模型修复工具和转换器,包括在验证模块中。

(10) Cutter/ Grinder Machine Simulation. 磨床仿真。

2 铣削工艺过程与刀具路径创建

2.1 铣削的一般过程

实现零件的铣削加工,首先要创建零件的 CAD 模型,然后根据模型提供的几何信息建立相关操作。因此,先在 Pro/ E 中建立型腔模具三维模型。然后,进入 Pro/ NC 模块进行型腔模具的加工、创建制造模型、构建虚拟机床,包括设置机床参数、定义制造坐标系(制造坐标系要与机床坐标系一致)、设置加工刀具、建立退刀平面等。最后,定义加工工艺,包括工艺参数的设定。上述过程亦适于其他工艺方法的虚拟加工。

2.2 铣削工艺过程

根据加工零件的不同,应采取不同的加工工艺。由于拟加工的零件为型腔模具,比较复杂,综合考虑生产率、精度要求、成本和通用性,提出并采取依次陷入铣削、曲面铣削、轮廓加工和拐角局部铣削的加工工艺,通过相应的加工刀具的选择和工艺参数的设置来完成工件的由粗加工、半精加工到精加工的工艺过程。之所以选用陷入加工,是因为陷入加工非常适合于模具型腔的粗加工,是实现高切除率的最有效的金属切削加工方法之一,可使其加工时间较普通铣削加工缩短一半以上。

2.3 刀具路径创建

曲面的形状比较复杂,切削方式对曲面的加工影响很大,因此需要定义切削。曲面铣削创建刀具路径有 4 种方法:直线切削、自曲面等值线、切削线和投影切削。这 4 种方法各有其特点和适用范围。可选用直线切削,即通过一系列直的切线来铣削型腔模具内表面,切削角相对于 x 轴为零度。如改变铣削类型则生成不同的刀具路径,必要时需改变制造参数。最后,通过后处理器生成型腔模具加工的初始 NC 代码,供后面 VERICUT 软件进行仿真使用。

3 虚拟机床建模及仿真优化

3.1 虚拟机床建模

常见的数控机床,在结构上主要有床身、立柱、运动轴和工作台等部件,再配合刀具、夹具和一些辅助部件共同组成^[6-8]。床身起到支承和承载机床组件的作用;立柱在结构上起到了拉开加工刀具和工件

的空间距离,实现运动轴的布局的作用;而工作台用来摆放工件,通过夹具等辅助工具实现工件的定位与夹紧。

通过对机床的机构上的共性分析,可将机床的组件划分为 3 种类型:通用模块、辅助模块、专用模块。其中,通用模块是指各类机床共有的零部件,如床身、立柱、工作台等;辅助模块是指刀具、夹具等机床工具;专用模块是为特种机床的特殊零部件所设立。在机床的建模过程中,应针对这 3 种不同类型的模块,采取相应的建模策略,综合运用几何建模与运动学建模相结合,实现针对多种机床的通用建模。

VERICUT 中机床的定义描述数控机床的运动学及物理特性,建立数控机床模型包括建立机床组件和实体模型两部分。组件之间具有和在真实机床结构中一样的运动关系,添加到组件上的实体模型代表机床的尺寸和形状,从而能够检测加工过程中各个组件之间的碰撞。组件的定义描述了组件在机床中的功能和各个组件之间的运动学关系。

实体模型分为参数模型和模型文件两种类型。参数模型是通过参数建立的立方体、圆柱、圆锥等简单模型,这些形状提供最短的仿真时间和最优化的机床的显示和消隐。模型文件是通过文本编辑器或其他 CAD 系统建立的文件(如 IGES、STL 和 HTML 文件),或者是 VERICUT 模型文件(如直线扫描(.swp)文件、旋转(.sor)文件)等。

VERICUT 中机床定义,有如下 6 个基本步骤^[9]。(1) 若需要调入在 CAD 软件中建立的复杂实体模型,则首先应输入 CAD 模型。(2) 在 VERICUT 中,从基体开始依次添加能够反映实际机床结构和运动学特性的组件,务必保证在组件各自的机床零点位置定义所有组件。(3) 如果需要,为组件添加代表尺寸和形状的三维实体模型。(4) 完成机床结构的建立,复位 VERICUT,使各运动部件回到初始位置。(5) 运用 MDI 检测机床的各项功能是否达到预期目的,如换刀、各轴的运动。(6) 保存机床文件。

基于 VERICUT 软件,提出了针对不同加工对象的多种机床的通用建模方法。结合具体实例建立一个通用的三轴联动立式数控铣床,于 CGTECH_LIBRARY 中打开一个通用的控制系统文件“Genericm.ctl”作为机床的控制文件,再于 CGTECH_LIBRARY 中调入一个代表 3 轴立式数控铣床的通用机器文件“g3vm.mch”。

从选用的控制文件和机床文件可以看出,采用的单位为 millimeter。X、Y、Z 轴及机床床身模型直接在 VERICUT 中建立,如果建立的模型较复杂,则可以由其他 CAD 软件建立好组件模型后再导入 VERICUT 中使用。导入的模型应该是 VERICUT 能够识别的格式,诸如 IGES、STL 等。建立的机床模型和机床组件树,分别如图 1、2 所示。

3.2 机床仿真及刀具轨迹优化

3.2.1 刀具文件的建立 刀具是机床进行加工的一种重要工具。VERICUT 仿真加工前,应先建立刀具库文件,仿真加工时再经过适当编辑,即可直接采用^[10]。VERICUT 刀具库包含刀具切削部分、刀杆和刀具夹持部分等信息,并以.tls 格式储存在刀具库文件中。

基于零件的加工需要,通过刀具管理器(Tool Manager)建立 3 把铣刀。即用于陷入加工的陷入铣刀,用于曲面和轮廓加工的型号为 EB4-PL R3 的球头铣刀,以及用于局部铣削的型号为 ES4-PL 2 的平头铣刀。建立的刀具库文件,如图 3 所示。

3.2.2 数控程序的调入和加工仿真 VERICUT

可以仿真单个或多个刀轨文件,并且可以仿真多种类型的刀轨文件。因此,在调入刀具轨迹时,首先要选择合适的刀轨类型,即可选择 G 代码刀位轨迹^[11-12],并设定用刀尖编程的方法进行刀具轨迹仿真。

VERICUT 提供了多种换刀方式,对于 G 代码文件,可以用刀具号、刀轨文件名或刀具列表等。采取 BY Tool Number 形式,即直接按刀具库中刀具号处理刀具,如遇到 T1 M6 时,将刀具号为 1 的刀具换到主轴上。

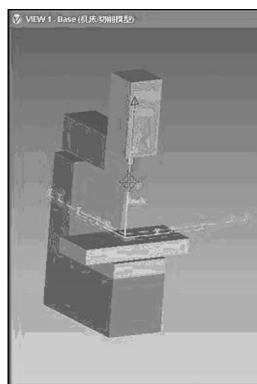


图 1 机床模型

Fig. 1 Model of Machine Tool

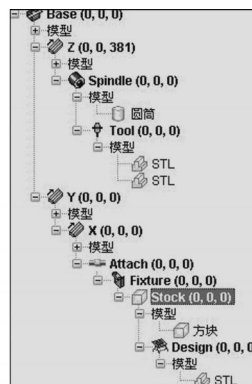


图 2 机床组件树

Fig. 2 Component Tree of Machine Tool

基于上述工作,再调入由 Pro/ NC 加工生成的 NC 代码,就可以进行 NC 程序的检验和机床加工仿真了. 仿真过程中可以浏览刀具轨迹文件,利用工具按钮控制仿真的起、停和速度等,并可通过相应的设置自动或手动捕捉 VERICUT 图片,还可记录 AVI 文件. 由图 4 可以看到,VERICUT 不仅可以对刀位轨迹仿真,还可以真实地反映出机床的实际工作情况. 当打开 Machine Setting 中的干涉检验时,即可对机床各组件间是否存在干涉进行检验,干涉处以红色显示并在 Log 文件中列出,具有真实的校验效果. 图 5、6 分别为陷入加工和曲面铣削加工的仿真图片.



图 3 刀具管理器
Fig. 3 Tool manager

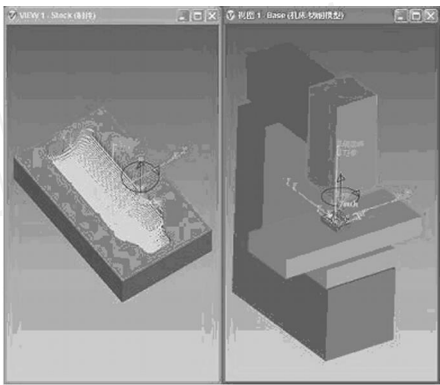


图 4 加工仿真图
Fig. 4 Diagram of machining simulation

仿真结束后,VERICUT 将自动产生 ASCII 文本格式的日志(. log) 文件. 日志文件包含仿真过程中的错误、警告和其他信息,如刀轨名称、仿真开始与结束时间、错误和警告的个数等. 其中,错误和警告部分包括产生错误的刀轨所在行数、刀轨代码和所用刀具. 因此,能够将错误和警告精确地定位到某一个程序段.

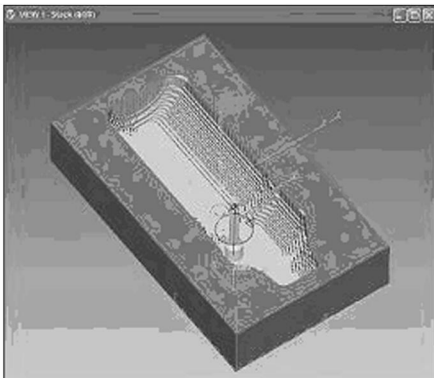


图 5 陷入加工仿真图

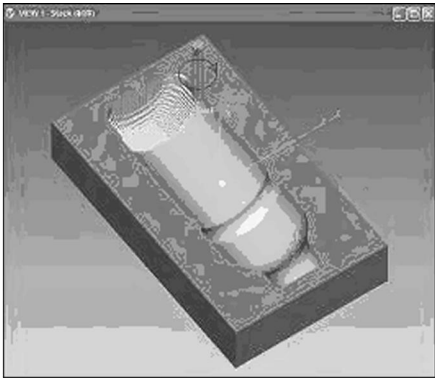


图 6 曲面铣削加工仿真图

Fig. 5 Plunge machining simulation chart Fig. 6 simulation diagram of curved surface milling machining

3.2.3 加工质量模型对比法虚拟检验 运用 VERICUT 的 AUTO-DIFF 模块,提出加工质量模型对比法,以实现高效的虚拟检验. 该方法将切削仿真后的模型与设计模型进行比较,并自动检测出它们之间的区别,完成虚拟检验. 应用此方法可以迅捷地检查不正确的切削区域,即欠切或过切. 特别需要指出的是,基于 AUTO-DIFF 模块功能的加工质量模型对比法,还可以被用来检测设计模型的缺点和错误,以便在实际加工之前及时纠正所发现的问题.

设计模型由 Pro/ E 中完成并保存为. IGES 格式后调入 VERICUT. 采用 AUTO-DIFF 的 4 种比较方式(实体、表面、点和轮廓比较)中的实体比较,即通过对比,从切削仿真模型中减去实体设计模型,再通过设置用户定义的公差水平,可以检测出过切和欠切材料. 图 7(a),(b) 为数控代码修正前后加工结果示意图. 图 7(a) 中的上部区域为欠切材料,右下区域为过切材料. 对比图 7(a),(b) 可以看到,在图 7(b) 中的工件已无欠切、过切情况发生.

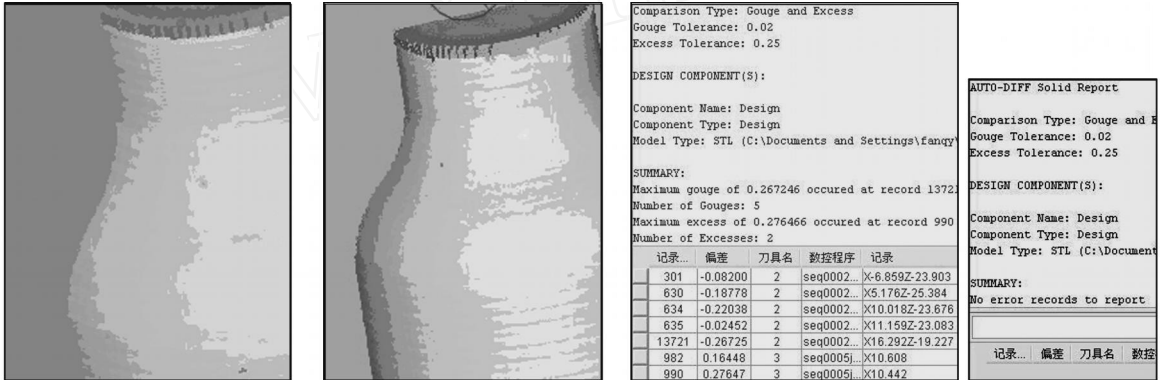
此外,在仿真过程中可以进行交互式的持续过切检查,仿真速度和质量均不下降. 应用此方法不必一开始就仿真整个数控程序,当欠切或过切发生时,可以马上检测出来. 为了鉴别过切,AUTO-DIFF 将

设计模型嵌入到毛坯材料当中,当刀轨切入设计模型,过切被突出显示,同时错误在信息栏中被报告出来.报告清单如图 8 所示.

从图 8(a)的报告清单中可以看出,在给定精度过切 0.02 mm、欠切 0.25 mm 的条件下,切削仿真后的模型与设计模型比较中出现过切 5 处,欠切 2 处(过切用负数表示、欠切用正数表示).其中,最大过切偏差 0.267 246 发生在数控程序 seq0002 的 137 21 项记录中,最大欠切偏差 0.276 466 发生在数控程序 seq0005 的 990 项记录中.

报告以列表方式列出错误刀轨所在行号、过切或欠切量、刀轨文件名称、出现错误的刀轨文本及所用刀具号,同时在视图中零件的相应位置处也会以不同的颜色显示过切和欠切材料.

通过刀具更换和手工数控程序的修改后多次仿真,比较得到的结果如图 8 (b) 所示.修正后的报告清单中显示无过切、欠切现象,表明加工仿真模型达到了所需加工精度要求,同时也验证了所提出和采用的对比法,对设计模型和仿真加工模型质量进行虚拟检验的正确性和可行性.



(a) 修正前

(b) 修正后

图 7 欠切与过切示意图

(a) 原始

(b) 修正后

图 8 报告清单

Fig. 7 Schematic diagram of the excess and gouge

Fig. 8 AUTO-DIFF report

3.2.4 刀位轨迹非机动最短路径优化 刀具轨迹的优化,是通过重新计算进给率和主轴转速,生成一个优化的刀具轨迹文件.优化过程中并不改变原有的快速运动和刀轨路线,但是,优化能够保证刀轨具有最佳的进给率或主轴转速,并在最短的时间内生产出高质量的零件.

优化刀具轨迹首先要创建一个优化刀轨库文件,其扩展名为 .olb. 它是一个针对不同的刀具、工件材料和切削条件,而建立的进给速度和主轴速度的切削参数库 (www.cgtech.com). 优化刀轨库被用来对刀具轨迹进行优化,从而生成一个优化了的数控程序文件.

图 9 为采用非机动空刀进给方式进行的加工优化. 即当刀具不接触材料时,刀具都以最大进给速度运行;而接触材料时,进给不被改变.由图 9 加工前后参数的对比情况可以看出,其加工仿真所用的时间减少了很多.

Tool Thumbnail	Seq	Record	Cutter Info	Cutter Height	OptiPath Record	Optimized By	Original Time	Optimized Time	Time Difference
	1	6:N0010T1M06	Profile	50	123 #2	Air Cuts: -1	755.1314	520.1471	31.1183%
	2	6:N0010T2M06	Ball End: 6, 50	50	002 #2	Air Cuts: -1	119.5677	118.9346	0.5295%
	3	6:N0010T2M06	Ball End: 6, 50	50	002 #2	Air Cuts: -1	5.1993	4.9784	4.2495%
	4	6:N0010T2M06	Ball End: 6, 50	50	002 #2	Air Cuts: -1	2.7683	2.7683	0%
	5	6:N0010T3M06	Bull Nose: 2, 0, 50	50	003 #2	Air Cuts: -1	7.0477	6.9532	1.3399%

图 9 刀具优化

Fig. 9 Tool optimization

4 结束语

将 Pro/ E 和 VERICUT 联合运用,研究进行虚拟机床建模与仿真优化的方法.在 Pro/ NC 中完成零件的加工,自动生成加工 NC 代码,利用 VERICUT 对其进行验证、分析和优化,有效地保证了刀具路径精度、零件加工质量和避免机床各组件间干涉.铣削仿真实例表明,该方法充分运用 Pro/ E 和 VERICUT 各自突出优势和特点,为实现虚拟机床技术的整体功能,以及更好地应用虚拟制造技术奠定了技术基础.

参考文献:

- [1] 沈卫民.虚拟机床技术[J].杭氧科技,2007(2):27-28.
- [2] EHMANN K F,DEVOR R E,DE METER E C,et al. A framework for a virtual machine tool (VMT)[R].Michigan:Michigan Technological University,1997:143-148.
- [3] 马树奇,赵玉灿.Pro/ ENGINEER Wildfire 3.0 零件设计与数控制造[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [4] 李云龙,曹岸.数控机床加工仿真系统 VERICUT[M].西安:西安交通大学出版社,2005.
- [5] 谢亚青.Pro/ NC 曲面铣削中定义刀具路径方法的比较[J].机床与液压,2005(6):30-31,152
- [6] 王学惠,刘世成,冯明.基于 VERICUT 的虚拟机床建模技术研究[J].现代制造工程,2007(8):38-40.
- [7] 阮润凌,唐承统,吕波,等.基于 VERICUT 虚拟机床的建模技术研究与应用[J].组合机床与自动化加工技术,2006(3):11-14.
- [8] 张冲.基于 VERICUT 的虚拟制造技术应用[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2004,27(1):109-112.
- [9] CHAN D S K. Simulation modeling in virtual manufacturing analysis for integrated product and process design[J]. Assembly Automation,2003,23(1):69-74.
- [10] GIACONIA P. Trends in NC simulation[J]. Tooling & Production,1996,62(3):31-42.
- [11] 聂伍兵,李国龙,徐宗俊,等.基于 VERICUT 的数控加工优化的研究与应用[J].制造业自动化,2007,29(2):84-86.
- [12] 程小刚,郭韧.GB 18030 与 Unicode 编码转换算法[J].华侨大学学报:自然科学版,2009,30(1):38-41.

Modeling and Simulation of Virtual Machine Tool Based on Pro/ E and VERICUT

FAN Qi-yong, GU Li-zhi, SONG Jin-ling

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

2. College of Science and Technology, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China)

Abstract: A kind of virtual machine tool (VMT for short) technology is proposed by combinational use of PRO/ E and VERICUT, in which the technology of automatic generation of numerical control (NC for short) codes provided by PRO/ E and the machining simulation functions provided by VERICUT is combined for a given part. The automatic generation of NC codes in NC machining is achieved by the post-processing module of PRO/ E and the dynamic simulation of the virtual milling process of the part is accomplished by VERICUT software. The optimal NC codes is finally obtained by optimizing the cutter locus through modification of NC codes according to the requirements after the check and repetition of simulation process mentioned above. The case study of milling process has validated the correctness and practicability of combinational use of PRO/ E and VERICUT in the investigation of VMT technology.

Keywords: virtual machine tool; milling process; Pro/ E; VERICUT; Pro/ NC; simulation

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 郑亚青)